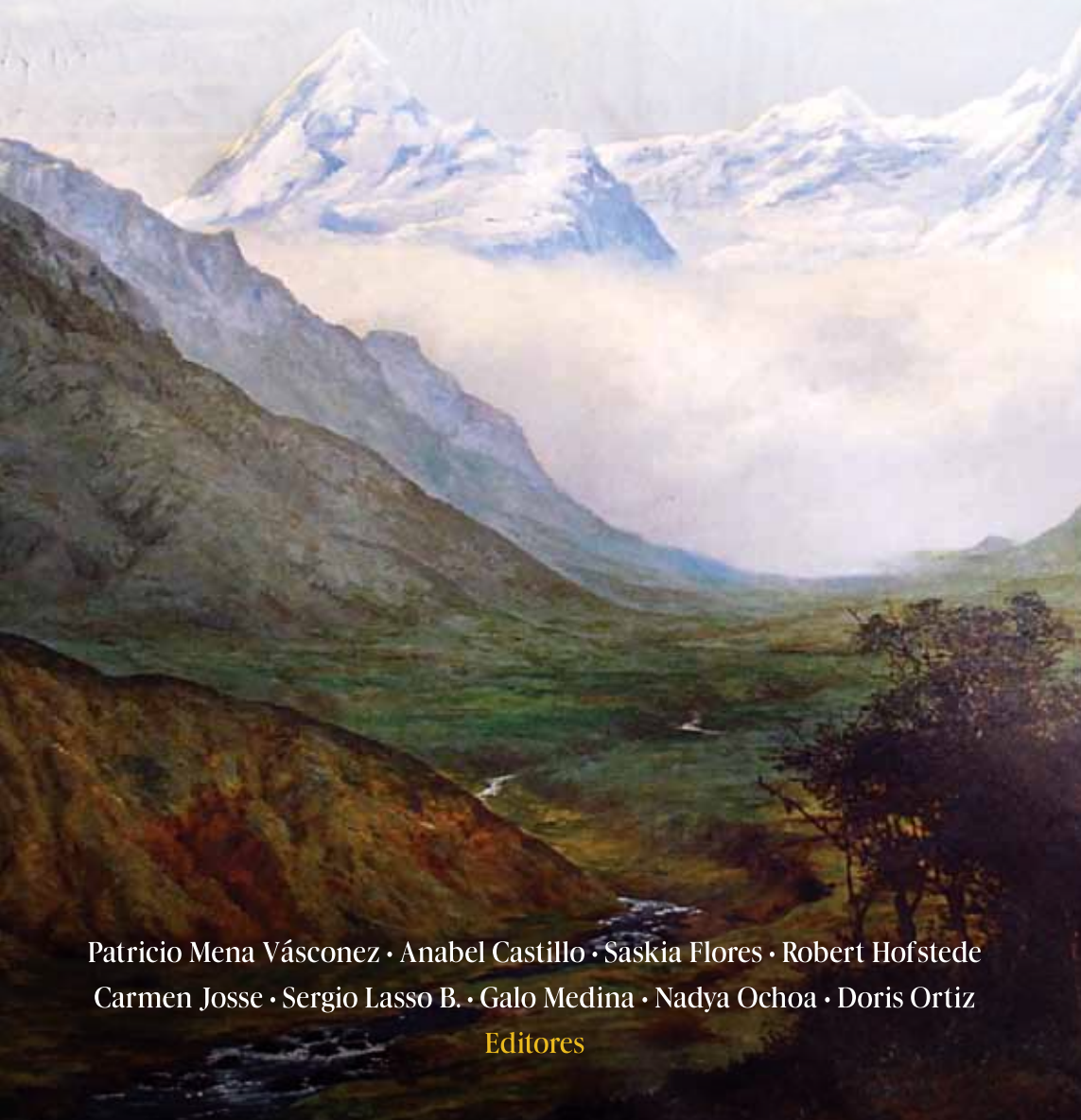


Páramo

Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado

Selección de textos de la Serie Páramo, órgano de difusión
del Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador (GTP)



Patricio Mena Vásconez • Anabel Castillo • Saskia Flores • Robert Hofstede
Carmen Josse • Sergio Lasso B. • Galo Medina • Nadya Ochoa • Doris Ortiz

Editores

Páramo

Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado

Selección de textos de la **Serie Páramo**, órgano de difusión del
GRUPO DE TRABAJO EN PÁRAMOS DEL ECUADOR (GTP)

Edición a cargo de:

Patricio Mena Vásquez

Anabel Castillo

Saskia Flores

Robert Hofstede

Carmen Josse

Sergio Lasso B.

Galo Medina

Nadya Ochoa

Doris Ortiz



Una coedición de
ECOCIENCIA, EDITORIAL UNIVERSITARIA ABYA-YALA y ECOBONA
Octubre 2011

El **Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador** (GTP) es una plataforma informal, multidisciplinaria y abierta de instituciones y personas con interés en el conocimiento, la conservación, el manejo, las políticas y la socioeconomía del páramo. Desde 1997 se llevan a cabo reuniones trianuales en las que se presentan, discuten y analizan temas relacionados con los páramos en el país y la región. El GTP ha sido coordinado desde sus inicios por EcoCiencia. Los temas de las reuniones son consensuados por sus miembros, quienes hacen las presentaciones o, en su lugar, personas invitadas a hacerlo. De cada reunión se produce un número de la Serie Páramo, el órgano de difusión del grupo. La publicación de la Serie ha sido realizada en coedición con Editorial Abya-Yala desde el inicio.

EcoCiencia es una organización no gubernamental ecuatoriana fundada en 1989. Su misión es “Conservar la diversidad biológica mediante la investigación científica, la recuperación del conocimiento tradicional y la educación ambiental, impulsando formas de vida armoniosas entre el ser humano y la naturaleza”. Desde 1998 coordina el GTP y desde 1999 coedita con Abya-Yala la Serie Páramo, que es la base de esta publicación.

Editorial Abya-Yala puede ser considerada una de las mayores productoras de obras de Ciencias Sociales en Latinoamérica. En Ecuador, las publicaciones de Abya-Yala concentran el 70% de la producción editorial del país. Hoy, su catálogo alcanza más de 1.600 títulos que incluyen cerca de 4.500 artículos, de 2.000 autores, 320 de ellos indígenas. Desde 1999 ha coeditado con EcoCiencia la Serie Páramo del GTP.

ECOBONA es un Programa Regional Andino de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación Internacional (COSUDE), implementado en Bolivia, Ecuador y Perú por la Fundación Suiza para el Desarrollo y la Cooperación Internacional INTERCOOPERATION).

Por favor cite esta obra completa así:

Mena Vásconez, P., A. Castillo, S. Flores, R. Hofstede, C. Josse, S. Lasso, G. Medina, N. Ochoa y D. Ortiz (Eds.). 2011. Páramo. Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado. EcoCiencia/Abya-Yala/ECOBONA. Quito.

Para cada artículo:

<<Autores/as>>. 2011. <<Nombre completo del artículo>>. En: P. Mena Vásconez, J. Campaña, A. Castillo, S. Flores, R. Hofstede, C. Josse, S. Lasso, G. Medina, N. Ochoa y D. Ortiz (Eds.). Páramo. Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado. EcoCiencia/Abya-Yala/ECOBONA. Quito.

ISBN: 978-9942-09-016-4

Diseño, edición e impresión: Editorial Universitaria Abya-Yala

Portada: cuadro “El Altar” de Luis A. Martínez (ca. 1908).

Esta publicación está disponible en Abya-Yala y EcoCiencia

GTP (coordinado por EcoCiencia)
Pasaje Estocolmo E2-166 y Amazonas
(Sector El Labrador)
Telfs. 2410781 — 2410791
gtpecuador@ecociencia.org
www.paramosecuador.org.ec
Quito, ECUADOR

Editorial Universitaria Abya-Yala
Av. 12 de Octubre 1430 y Wilson
Casilla 17-12-719
Telfs. 2506251 — 2506247
editorial@abyayala.org
www.abayayala.org
Quito, ECUADOR

CONTENIDO

CONTENIDO

Presentación.....	7
Agradecimiento.....	13

SECCIÓN 1: EL PÁRAMO ESTUDIADO

<i>Introducción: El páramo estudiado</i>	19
<i>Esteban Suárez</i>	
La flora de los páramos ecuatorianos	25
<i>Susana León-Yáñez</i>	
La agrobiodiversidad en los ecosistemas de páramo: una primera aproximación a su inventario y su situación actual	41
<i>Carlos Nieto C. y Jaime Estrella E.</i>	
Los suelos de los páramos de Ecuador	63
<i>Pascal Podwokewski y Jérôme Poulenard</i>	
Hidrología del páramo: importancia, propiedades y vulnerabilidad	81
<i>Bert De Bièvre et al.</i>	
Plantaciones forestales y producción de servicios ambientales	99
<i>Kathleen A. Farley Wolf</i>	
Un análisis geoespacial y estadístico preliminar de la actividad minera en los páramos de Ecuador	113
<i>Alexandra Velástegui y Víctor López A.</i>	



SECCIÓN 2: EL PÁRAMO HABITADO

<i>Introducción: El páramo habitado</i>	129
<i>Rossana Manosalvas</i>	
Análisis de género y el manejo de páramo: una exploración de las necesidades y potencialidades	135
<i>Susan Poats</i>	
Particularidades culturales de la gente de montaña	155
<i>Jorge León T.</i>	
Las expresiones musicales en los páramos ecuatorianos	167
<i>Juan Manuel Carrión</i>	
La gestión andina de los páramos: el caso de Patococha, Cañar, Ecuador	173
<i>Marco Pichisaca y Cesario Guamán</i>	
La asociación de productores de plantas medicinales Jambi Kiwa en Chimborazo	187
<i>Rosa Guamán</i>	
Comunidad y área protegida: la experienciade manejo de los páramos de Asaraty	195
<i>Rafael Ushca 141</i>	
El turismo en Oyacachi: mucho más que aguas termales y paisaje	199
<i>Saskia Flores y Héctor Parión</i>	
La experiencia de la comuna Zuleta, provincia de Imbabura	209
<i>José Alvear</i>	

SECCIÓN 3: EL PÁRAMO MANEJADO

<i>Introducción: El páramo manejado</i>	215
<i>Bert De Bièvre</i>	
Metodologías aplicadas para el manejo y conservación de los páramos con énfasis en el agua: la experiencia de ETAPA	221
<i>Paul Turcotte et al.</i>	

Mecanismos relacionados con servicios ambientales como una herramienta para la conservación de los páramos	231
<i>Montserrat Albán</i>	
Páramos en áreas protegidas: el caso del parque nacional Llanganates	247
<i>Miguel Á. Vázquez</i>	
Una visión general del ecoturismo en los páramos de Ecuador	261
<i>Érica Narváez</i>	
El manejo social y técnico de los páramos de Quisapincha	269
<i>Amado Martínez</i>	
Experiencia comunitaria en el manejo de recursos naturales altoandinos: el caso de la Asociación Pasguazo Zambrano en la provincia de Chimborazo	277
<i>Kelvin Cueva R.</i>	
Zhincata, ¿un nuevo gran lago en los Andes?	283
<i>Patricio Mena Vásconez</i>	

SECCIÓN 4: EL PÁRAMO INSTITUCIONALIZADO

<i>Introducción: La institucionalización del páramo.</i>	295
<i>Sergio Lasso B.</i>	
El Ecuador requiere de un instrumento legal para promover la conservación de sus páramos	301
<i>Manolo Morales y Silvana Rivadeneira</i>	
Los servicios del ecosistema páramo: una visión desde la evaluación de ecosistemas del milenio	315
<i>Robert Hofstede</i>	
Los páramos ecuatorianos y el tratado de libre comercio con Estados Unidos	331
<i>Carlos Larrea</i>	
El Parque Nacional Sangay y la carretera Guamote-Macas	337
<i>Miguel Á. Acuña</i>	



La experiencia de manejo de los páramos en la Reserva Ecológica Cayambe-Coca	353
<i>Luis Martínez</i>	
<i>Colofón:</i> El reto para la conservación y manejo de los páramos en Ecuador	361
<i>Domingo Paredes</i>	
Editores/as	373
Índice de materias	375

HIDROLOGÍA DEL PÁRAMO:

IMPORTANCIA, PROPIEDADES
Y VULNERABILIDAD¹

BERT DE BIÈVRE²

VICENTE ÍÑIGUEZ³

WOUTER BUYTAERT⁴

Muchas veces las regiones montañosas son descritas como “las torres de agua del mundo” (Mountain Agenda, 1998). Esta frase está sujeta a debate, pero para los ecosistemas de humedales que se encuentran en las montañas de los Andes altos sobre los 3.000 m de altitud, existe poca duda. Directa o indirectamente proporcionan servicios ambientales a más de 100 millones de personas (IUCN, 2002). Sin duda, el más importante de estos servicios es suministrar agua confiable para uso urbano, para la agricultura y la industria.

El páramo consiste de planicies y valles accidentados de origen glacial con una gran variedad de lagunas, pantanos y praderas húmedas. Como resultado de la poca presencia humana, la calidad del agua es excelente, y los ríos que descienden desde el páramo tienen un alto y sostenido flujo base. Por lo tanto, y porque el agua subterránea es escasa y difícil de explotar, la mayoría de grandes ciudades en el norte de los Andes (como Bogotá y Quito) dependen del páramo para suministro de agua. A pesar de su importancia como un suministrador de agua, la hidrología del páramo es muy poco entendida. Datos meteorológicos e

1 Serie Páramo 21: Investigaciones biofísicas (2009). El texto fue revisado por Bert De Bièvre en junio de 2011.

2 Coordinador Regional; Proyecto Páramo Andino; CONDESAN, Quito; bert.debievre@condesan.org

3 Investigador; PROMAS; Universidad de Cuenca, Ecuador; vicente.iniguez@ucuenca.edu.ec

4 Profesor; Civil and Environmental Engineering; Imperial College, Londres; wouter@paramo.be



hidrológicos son casi inexistentes, y la literatura científica es extremadamente escasa. Hasta hoy, esto no ha causado problemas graves para el aprovechamiento del agua debido a la abundancia de páramos cercanos a estas ciudades y la alta producción de agua.

En el futuro, los problemas podrían surgir. Un incremento en la población, en el estándar de vida y en las actividades agrícolas y económicas resultarán en una creciente demanda por agua.

Importancia

El agua del páramo es importantísima para que funcionen las poblaciones que viven en los Andes a gran altura. Es consumida como agua de uso doméstico y uso agrícola y es usada para la generación de energía.

Uso urbano

Una frase podría resumir todo lo referente a este tema: “Ciudades de altura no serían posibles sin el flujo regulado del páramo”. Ciudades como Bogotá, Quito y Cuenca consumen agua que proviene casi exclusivamente del páramo. Estas ciudades son posibles solamente porque los ríos de los que captan el agua son bien regulados debido a las características específicas del páramo. Sin este flujo regulado no tendrían ninguna otra fuente de agua disponible para su supervivencia. Por ejemplo, no existen grandes acuíferos de donde se podría tomar agua subterránea.

Usos agrícolas

El riego en las montañas de Ecuador es una práctica muy antigua. Ya en los tiempos precolombinos, la cultura kañari y otras fueron muy activas en la construcción de grandes esquemas de riego. Los incas mejoraron estas infraestructuras aplicando el conocimiento de otras culturas conquistadas en lo que hoy es Perú y Bolivia. Casi la totalidad del riego en la Sierra ecuatoriana se hace con agua del páramo.



Generación de energía hidroeléctrica

El páramo tiene muy buena aptitud para generar energía hidroeléctrica. La topografía provee excelentes sitios para la construcción de presas pequeñas, y los constantes y confiables flujos base garantizan una generación permanente. Ejemplos de centrales hidroeléctricas dentro del páramo son Saucay y Saymirín, con una capacidad de 14,4 MW y 24 MW, respectivamente, cerca de la ciudad de Cuenca. Otra es la central Pisayambo al norte del país, con una capacidad de 70 MW. Sin embargo, también otras centrales como la central Paute, con una capacidad de 1.075 MW, una de las más grandes plantas hidroeléctricas de la región andina, obtienen gran parte de sus aguas del páramo. Se estima que entre el 25 y el 40% del agua que llega al embalse de Amaluza se origina en el páramo de la Cordillera Central y Occidental, pero en estiaje representa casi el 100%.

Propiedades hidrológicas

El clima

Una característica común del páramo es la presencia de temperaturas muy frías. La temperatura media a 3.500 m está alrededor de 7 °C (Buytaert 2004). Por otro lado, el consumo natural de agua en el páramo es muy bajo, debido a la predominancia de pajonales y de hierbas xerofíticas con características de baja evaporación, a pesar de la radiación alta a estas altitudes y latitudes. Estimaciones de la evapotranspiración en el páramo están entre 1 y 1,5 mm día⁻¹ (Hofstede 1995; Buytaert 2004). Como consecuencia, un gran excedente de agua está disponible para ser evacuado por los ríos que descienden del páramo.

La precipitación anual es relativamente alta comparada con zonas más bajas aledañas, pero muy variable (700-3000 mm) (Luteyn 1992). Por ejemplo, la precipitación registrada en Huagraúma (páramo de Chanlud) en el año 2002 es igual a 1.488,2 mm en comparación con los 806,0 mm de la estación de Ucubamba en Cuenca, que está a escasos 26 km.

Adicionalmente, hay una variación estacional relativamente baja como se puede desprender de la Figura 1, al comparar los registros del mismo año de las estaciones de Ucubamba y Huagraúma.



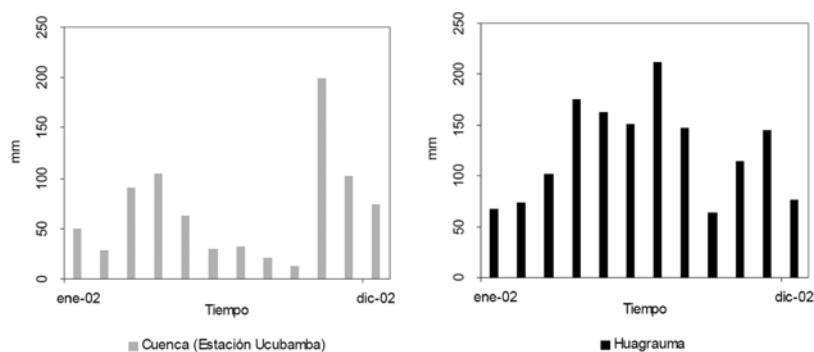


Figura 1. Precipitación 2002, estaciones pluviográficas a 2.540 (izq.) y 3.810 m (der.)

Los eventos de lluvia en el páramo son típicamente de frecuencia alta y de baja intensidad (Buytaert et al. 2004), esto se puede ver más claramente si se comparan curvas de intensidad-duración-frecuencia para diferentes estaciones de lluvia localizadas a diferentes alturas (Figura 2).

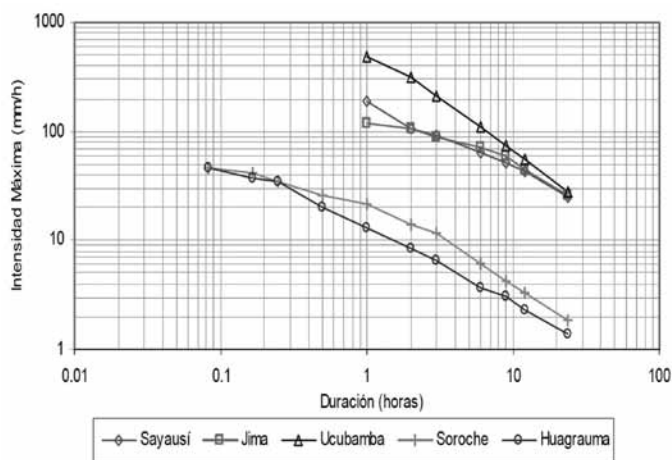


Figura 2. Curva de intensidad duración y frecuencia para diferentes estaciones de lluvia. Las estaciones de Soroche y Huagrauma se encuentran sobre los 3500 m, a diferencia de las otras que se localizan bajo este nivel. Fuente: Timbe (2004)

En la Figura 2 se observa una extraordinaria diferencia en intensidad de la lluvia (hasta 10 veces menos intensa en el páramo) para una misma duración de tormenta en estaciones ubicadas en el páramo, en contraste con las otras estaciones que no se encuentran en él.

El suelo

A pesar de la compleja geología y topografía, los suelos del páramo son relativamente homogéneos. El tipo de suelo y las propiedades son principalmente determinadas por dos factores: 1. El clima; y 2. La existencia de una capa homogénea de cenizas de erupciones volcánicas del Cuaternario (Barberi et al. 1988; Sauer 1957; Winckell et al. 1991; Buytaert et al. 2005b; Colmet-Daage et al. 1967). El clima frío y húmedo, y la baja presión atmosférica favorecen la acumulación de la materia orgánica en el suelo.

Los suelos son generalmente clasificados como andosoles en la *World Reference Base for Soil Resources* (FAO/ISRIC/ISSS 1998), o andisoles en la *Soil Taxonomy* (Soil Survey Staff 2003). En áreas más saturadas por agua o en zonas con menor influencia volcánica, se desarrollan histosoles (Buytaert 2004). En zonas más empinadas o donde hay afloramientos de roca, son más los regosoles (Dercon et al. 1998).

El carbón orgánico típicamente está alrededor del 10% (Poulenard et al. 2003). En sitios húmedos ($>900 \text{ mm año}^{-1}$), contenidos de Carbón orgánico por encima del 40% no son nada raros (Buytaert et al. 2005b; Podwojewski et al. 2002).

Como resultado de la baja densidad aparente y de la estructura abierta y porosa, los suelos del páramo tienen una capacidad de retención de agua muy alta (80-90% en saturación) (Buytaert 2004; Íñiguez 2003). Esto se puede entender mejor cuando se comparan las curvas de retención de humedad de los andosoles con las correspondientes a los suelos “comunes”, que son aquellos que están concentrados en el rango comprendido entre los suelos arenosos y los suelos arcillosos (Figura 3).

Aplicando varias técnicas in situ y laboratorio (permeámetro de carga constante, método del pozo invertido y tensiointfiltrómetro) para la



determinación de la conductividad hidráulica de los suelos dan resultados similares en el valor promedio y el rango de variación (Buytaert 2004; Figura 4).

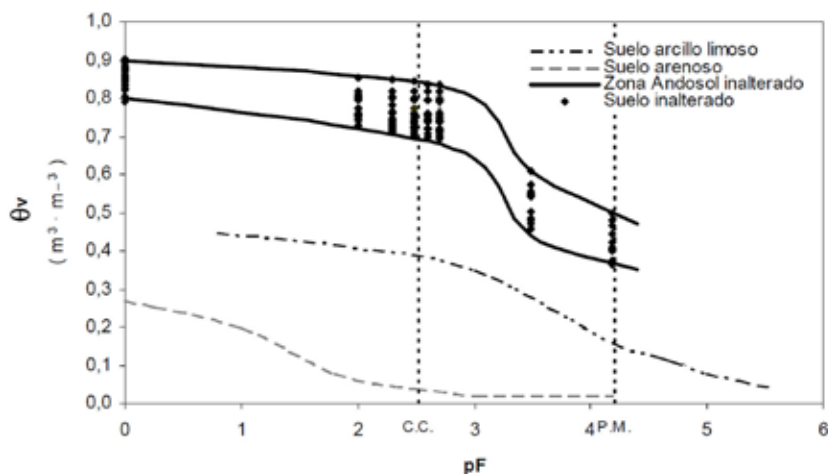


Figura 3. Curvas de retención de agua para los suelos comunes y para el Andosol inalterado ($pF = 0$ saturación, C.C. = capacidad de campo, P.M. = punto de marchitez). Fuente: Íñiguez (2003)

Adicionalmente, la conductividad hidráulica en este caso no saturada (K) cae abruptamente con la aplicación de succiones bajas. En experimentos de campo con el infiltrómetro de tensión, Buytaert (et al. 2005a) observó una reducción de la conductividad hidráulica desde 5.3 mm h⁻¹ a -3 cm de succión hasta 0.52 mm h⁻¹ a -15 cm. Esta es una reducción mucho más brusca que en otros suelos, como se puede observar en la Figura 5.

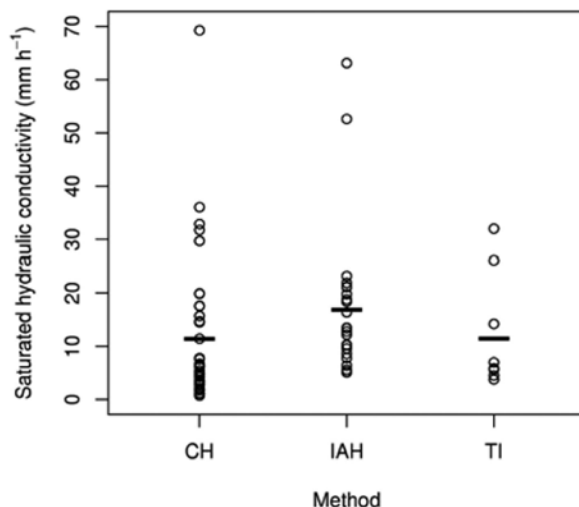


Figura 4. Comparación de diferentes métodos para la medición de la conductividad hidráulica saturada en la microcuenca de Huagraúma. CH = constant head (carga constante), IAH = inverted auger hole (pozo invertido), TI = tension infiltrometer (infiltrómetro de tensión). = promedio. Fuente: Buytaert (2004)

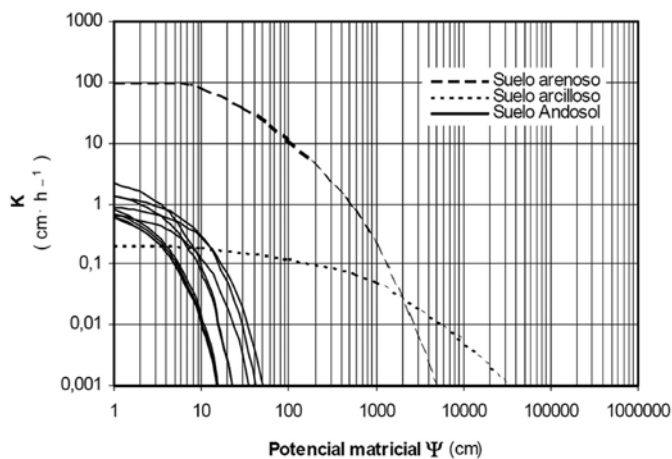


Figura 5. Comparación de diferentes curvas de conductividad hidráulica no saturada. Fuente: Íñiguez (2003)



Esta característica podría ser la responsable del “lentamente soltar” del agua desde el suelo del páramo.

Producción de agua y regulación

Como resultado de la baja evapotranspiración, hay un gran excedente de agua, alimentando los ríos que descienden hacia las regiones costeras y a la cuenca amazónica. Junto a una alta producción de agua, la capacidad del páramo para regularla es casi legendaria entre agricultores y científicos (Hofstede 1995; Medina y Mena 2001; Poulenard et al. 2001; Harden 2001; Sarmiento 2000; Poulenard et al. 2003; Podwojewski et al. 2002; Luteyn 1992). De hecho muchos ríos de páramo proveen un flujo base sostenido a través del año (Buytaert et al 2004). Es improbable que la vegetación predominante, de pajonales y pequeños arbustos, tenga un mayor impacto en la regulación de agua. El flujo base sostenido es atribuido principalmente al clima, la topografía y los suelos.

En la literatura, se da el mayor crédito de la alta regulación de agua a los suelos del páramo (véase Medina y Mena (2001); Poulenard et al (2003); Luteyn (1992)). La estructura del suelo muy ligera y porosa y la extraordinaria capacidad de almacenamiento de agua confirman la habilidad del suelo para una buena regulación de esta.

En la Figura 6, se puede observar como la humedad básicamente no varía a pesar de la variabilidad de la lluvia.



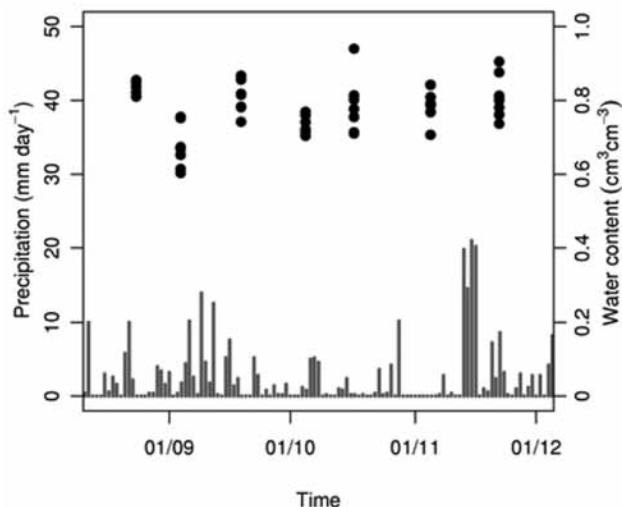


Figura 6. Contenido de agua actual de los suelos de la microcuenca de Huagraúma sobre el tiempo, comparado con la precipitación (barras).
Fuente: Buytaert (2004)

Impacto humano

Las actividades que se realizan en el páramo pueden ser serios limitantes para su conservación. Se pueden distinguir dos tipos principales de impactos humanos. Por un lado se observa el incremento de la presencia humana en el páramo. Esta presencia tiene un impacto directo en el ciclo del agua mediante cambios en las propiedades del suelo y vegetación y la construcción de infraestructuras. Por otro lado, hay un impacto indirecto en la hidrología del páramo debido a los cambios climatológicos.

Agricultura con labranza

El principal efecto de la labranza en los suelos del páramo es la degradación irreversible de la estructura, principalmente en relación al contenido de materia orgánica y de los minerales (alófano, imogolito, etc.). Esto causa generalmente una disminución de la retención de agua



(ver Figura 7), aumento de la hidrofobia y destrucción de la materia orgánica. El resultado es menos regulación del agua.

Buytaert (2004) analizó los volúmenes de descarga de microcuencas de páramo de Ecuador (cerca de 2 km²) y encontró una razón flujo pico/flujo base de 5,0 para cuencas naturales y 11,9 para cuencas cultivadas y drenadas (Figura 8).

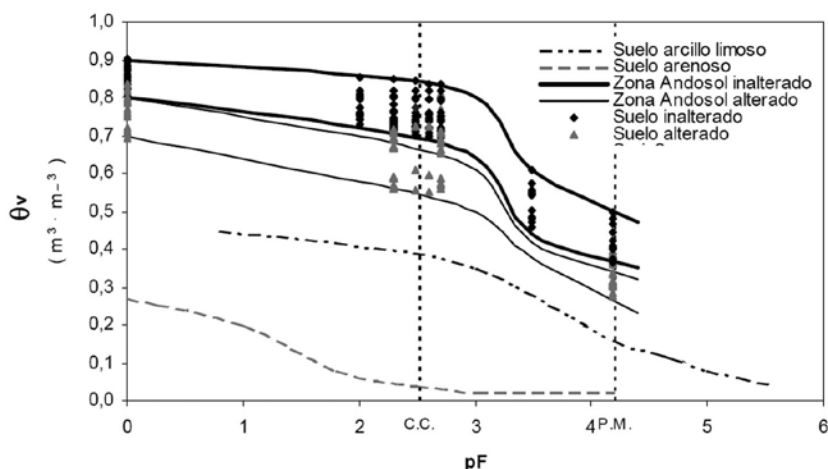


Figura 7. Comparación entre las curvas y puntos de retención de humedad del andosol inalterado y alterado y de los suelos "comunes". Fuente: Íñiguez (2003)

Forestación con pinos

El PROMAS de la Universidad de Cuenca, en una primera etapa de investigación, durante el año 2004, monitoreó dos microcuencas (cerca de 1,5 km²), ubicadas al noroeste de la ciudad de Cuenca, que tienen diferente cobertura vegetal: pajonal y pino. La conclusión fue que la respuesta en tiempo a un determinado evento de lluvia es similar en las dos microcuencas; en otras palabras, están presentes los mismos procesos hidrológicos o la regulación del agua en el suelo no cambió (ver Figura 9).

Sin embargo, el caudal específico mínimo de la cuenca con pajonal es aproximadamente TRES veces más alto con respecto a la cuenca con

pinos, debido al mayor consumo de agua por evapotranspiración que hacen los árboles (Figura 10).

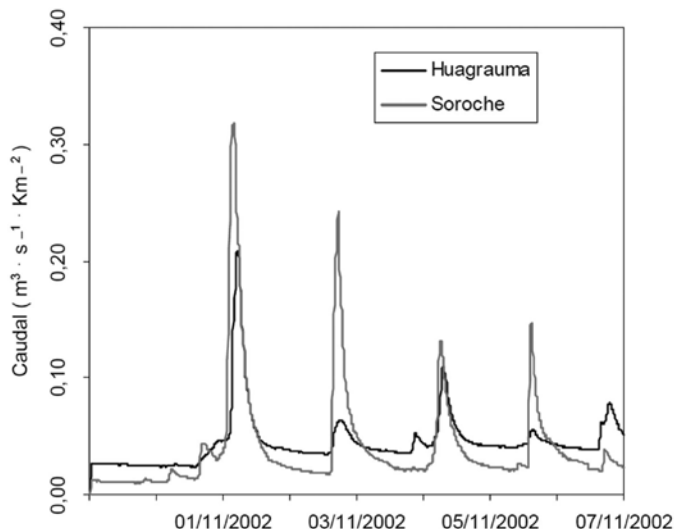


Figura 8. Comparación de la respuesta hidrológica (caudal) de la microcuenca natural Huagraúma y la microcuenca alterada Soroche para eventos extremos de lluvia que cubren ambas cuencas.

Fuente: Buytaert (2004)

Forestación con bosque nativo

La forestación con bosque nativo puede ser importante en la medida en que ayuda a proteger el suelo. Sin embargo, que la (re)forestación en el páramo con especies nativas ayudará a mantener los caudales en épocas de estiaje (como sí resulta en cuencas de media y baja montaña), es una idea errónea; lo anterior sin duda producirá efectos desconocidos, probablemente reduzca la producción hídrica (Hofstede 2000, 2001) al igual que ha ocurrido en otros países con ecosistemas similares al páramo (Bosch y Hewlett 1982; Duncan 1995; Putuhena y Cordero 2000). El pajonal es posiblemente un protector de suelo igualmente bueno y consume menos agua. Pero no existen evidencias contundentes para probarlo.



Quemas

Las quemas pueden afectar severamente la estabilidad del suelo. Estas prácticas inducen a la formación de agregados del suelo hidrofóbicos y estables con alta repelencia al agua (Wada 1985; Valat et al 1991; Golchin et al. 1997; Piccolo y Mbagwu 1999). El grado de la repelencia de agua depende de la cantidad y del tipo de la materia orgánica (Poulenard et al. 2001). Sin embargo, estos serían los efectos de un incendio de alta intensidad que llegue realmente a la superficie del suelo. En la mayoría de incendios de pajonal esto no es el caso y el daño es mucho menor. Otra vez faltan evidencias en este punto.

Pastoreo

La resistencia mecánica de los andosoles e histosoles es muy baja. Estos suelos al ser pisados se compactan y pierden su extraordinaria capacidad de retención de agua. La compactación es menor con los camélidos andinos que con ganado vacuno y bovino. El sobrepastoreo le deja al suelo sin protección contra el sol; se seca su parte superficial en forma irreversible y se vuelve extremadamente vulnerable a la erosión hídrica y eólica (típica situación en la provincia de Chimborazo).

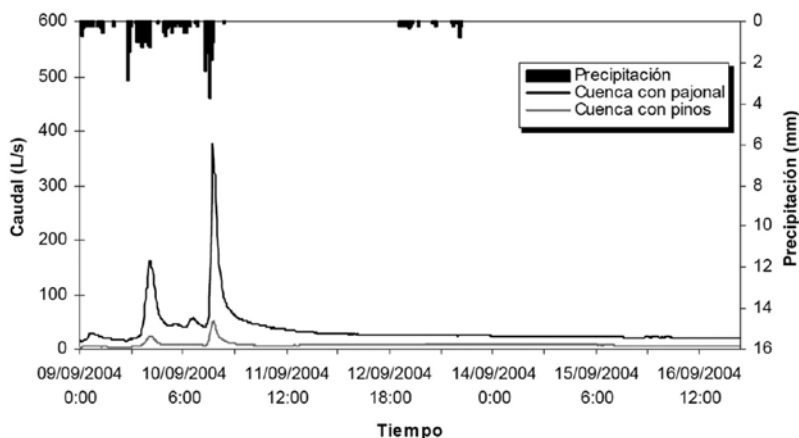


Figura 9. Comparación de la respuesta en caudal a eventos extremos de lluvia. Fuente: De Bièvre (2004)

Cambios climáticos

Es posible que exista un cambio de régimen de precipitación en los Andes ecuatorianos y por consecuencia en los páramos. Debido a la inexistencia de registros históricos largos es imposible comprobarlo. Aun si hubiera un cambio en la precipitación en los páramos, hay otro efecto del cambio global del clima que seguramente tendrá un impacto mucho más fuerte sobre la hidrología de los páramos: la disminución del área del propio páramo.

Los andosoles responsables de la regulación hídrica dependen de la temperatura fría para su existencia. Si la temperatura sube la descomposición de la materia orgánica aumenta y los suelos pierden su capacidad de regulación.

Un aumento de apenas 0,6 °C daría como resultado que los andosoles que, actualmente existen desde los 3300 m, se presenten desde los 3400 m, lo que reduciría su superficie, por ejemplo en la cuenca del Paute en un 14%. En el caso de un aumento de 1,2 °C el límite subirá a 3500 m y la reducción será del 26%.

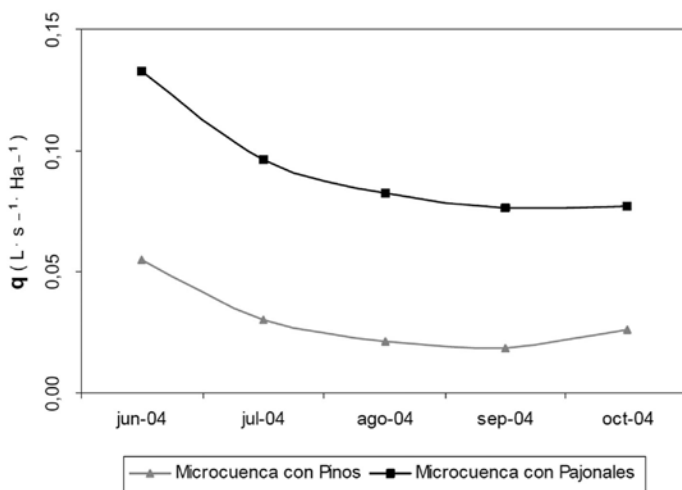


Figura 10. Caudales específicos mínimos. Fuente: De Bièvre (2004)



POST SCRÍPTUM

¿QUÉ HA SUCEDIDO DESPUÉS DE LA PUBLICACIÓN ORIGINAL?

El artículo resumía las primeras investigaciones sobre hidrología de páramo en Ecuador. Se ponía énfasis en mediciones a nivel de parcela; es así que se estudiaron curvas de retención de agua del suelo y permeabilidades hidráulicas de los suelos, trabajos que arrojaron resultados sorprendentes por estar tan fuera de los rangos “comunes”. Sin embargo, esto no necesariamente explicaba el comportamiento a nivel de caudales en los ríos que bajan de los páramos. De allí que en los siguientes años se insistió en mediciones directas de caudal a nivel de microcuenca, incluyendo una caracterización de la precipitación.

Hoy podemos describir con más detalle al páramo como reservorio de agua, y sabemos qué aspectos de ese reservorio son los más importantes. El reservorio es principalmente el suelo, y es grande, sorprendentemente grande para la poca profundidad del suelo. Es un reservorio del que las plantas toman con mucha moderación, ya que el clima del páramo no les permite evaporar mucha agua. También es un reservorio que suelta su agua con mucha austeridad, incluso cuando apenas empieza a bajar de su nivel máximo. De allí que puede soltar esta cantidad durante largos períodos sin lluvia, y generalmente no se agota antes de ser rellenado con una nueva lluvia. Pero el reservorio también tiene sus límites. En suelos con algo menos de materia orgánica y los no volcánicos, y en suelos degradados, el reservorio es más pequeño, y si existen períodos secos de varios meses, las reservas no alcanzan a cubrir este período. Si sigue lloviendo, también se llena, y agua que cae sobre suelo lleno, saturado, escurre en su totalidad, causando también crecientes repentinas y fuertes.

Las condiciones de clima, de precipitación, de suelos, varían; las de precipitación incluso en distancias menores a 1 km. Eso lo hace tremendamente difícil de generalizar sus características. Si solo nos basamos en unas pocas cuencas, podemos equivocarnos en la extrapolación. En la zona de estudio del artículo, ahora existen siete microcuencas con monitoreo similar. Una trampa puede ser no tomar en cuenta el estado de conservación/degradación del páramo. Una situación es sembrar pinos sobre un páramo conservado —estamos seguros que la generación de agua disminuirá— pero otra es sembrar pinos sobre un páramo degradado, que habrá perdido sus buenas propiedades hidrológicas. En el último caso quizá salgamos ganando hidrológicamente, si recuperamos algo de infiltración y de capacidad de almacenamiento del agua en el suelo.

Un aspecto que ha ganado mucho interés es el efecto del cambio climático sobre la hidrología de los páramos. Las predicciones sobre cambios en precipitación tienen una incertidumbre gigantesca. Y la investigación sobre temas fundamentales, como la función del carbono que será afectado bajo calentamiento, está en una fase muy incipiente. Como que todavía nos falta entender mejor cómo funciona ahora, antes de poder decir cómo lo hará bajo un cambio de clima. Pero la necesidad de saber apremia más.



Bibliografía

- Barberi, F., M. Coltelli, G. Ferrara, F. Innocenti, J. Navarro y R. Santacroce. 1988. *Pliouaternary volcanism in Ecuador*. Geological Magazine, 125: 1—14.
- Bosch, J. M. y J. Hewlett. 1982. *A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration*. Journal of Hydrology 55: 3—23.
- Buytaert, W. 2004. *The properties of the soils of the south Ecuadorian páramo and the impact of land use changes on their hydrology*. Ph.D. thesis, Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences. Katholieke Universiteit. Leuven.
- Buytaert, W., B. De Bièvre, G. Wyseure y J. Deckers. 2004. *The use of the linear reservoir concept to quantify the impact of land use changes on the hydrology of catchments in the Ecuadorian Andes*. Hydrology and Earth System Sciences, 8: 108—114.
- Buytaert, W., B. De Bièvre, G. Wyseure y J. Deckers. 2005a. *The effect of land use changes on the hydrological behaviour of Histic Andosols in south Ecuador*. Hydrological Processes.
- Buytaert, W., J. Sevink, B. Leeuw y J. Deckers. 2005b. *Clay mineralogy of the soils in the south Ecuadorian páramo region*. Geoderma.
- Buytaert, W., F. Cuesta-Camacho y C. Tobón. 2011. *Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions*. Global Ecology and Biogeography 20:19-33.
- Colmet-Daage, F., F. Cucalon, M. Delaune, J. Gautheyrou, M. Gautheyrou y B. Moreau, B. 1967. *Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques*. II. Conditions de formation et d'évolution. Cahiers ORSTOM, série Pédologie 5: 353—392.
- Crespo, P., R. Céleri, W. Buytaert, J. Feyen, V. Íñiguez, P. Borja y B. De Bièvre. 2010. *Land use change impacts on the hydrology of wet Andean páramo ecosystems*. En: Status and Perspectives of Hydrology of Small Basins (Memorias Taller llevado a cabo en Goslar-Hahnenklee, Alemania, 30 de marzo a 2 de abril de 2009). International Association for Hydrological Sciences Publ. 336.



- De Bièvre, B. 2004. *Efectos de la cobertura vegetal en microcuencas de páramo*. Departamento de Investigación de la Universidad de Cuenca.
- Dercon, G., B. Bossuyt, B. De Bièvre, F. Cisneros y J. Deckers. 1998. *Zonificación agroecológica del Austro Ecuatoriano*. U. Ediciones. Cuenca.
- Duncan, M.J. 1995. *Hydrological impacts of converting pasture and gorse to pine plantation and forest harvesting, New Zealand*. Journal of hydrology 34(1):1541.
- FAO/ISRIC/ISSS. 1998. *World Reference Base for Soil Resources*. No. 84 in World Soil Resources Reports. FAO. Roma.
- Golchin, A., J. Baldock, P. Clarke, T. Higashi y J. Oades. 1997. *The effects of vegetation and burning on the chemical composition of soil organic matter of a volcanic ash soil by CNMR spectroscopy*. II. Density fractions. Geoderma 76: 175-192.
- Harden, C. P. 2001. *Soil erosion and sustainable mountain development*. Mountain Research and Development 21: 77—83.
- Hofstede, R. G. M. 1995. *Effects of burning and grazing on a Colombian páramo ecosystem*. Ph.D. thesis. Universiteit van Amsterdam. Ámsterdam.
- Hofstede, R. 2000. *Aspectos técnicos ambientales de la forestación en los páramos*. En: Medina, G., C. Josse y P. Mena (Eds.). La forestación en los páramos. Serie Páramo 6. GTP/Abya-Yala. Quito.
- Hofstede, R. 2001. *El impacto de las actividades humanas sobre el páramo*. En: Mena, P., G. Medina y R. Hofstede (Eds.). Los páramos del Ecuador. Particularidades, problemas y perspectivas. Abya-Yala/Proyecto Páramo. Quito.
- Íñiguez, V. 2003. *Balance hídrico de microcuencas de páramo*. Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería. Cuenca.
- IUCN. 2002. High Andean Wetlands. Tech. rep. IUCN. Gland. Keating, P. L. 1998. *Effects of anthropogenic disturbances on páramo vegetation in Podocarpus National Park, Ecuador*. Physical Geography 19: 221—238.
- Luteyn, J. L. 1992. *Páramos: why study them?* In: Balslev, H. y Luteyn, J. L. (Eds.), Páramo: an Andean ecosystem under human influence. Academic Press. Londres.
- Medina, G. y P. Mena. 2001. *Los páramos en el Ecuador*. En: Mena, P., G. Medina y R. Hofstede (Eds.), Los páramos del Ecuador. Proyecto Páramo, Quito, pp. 1—24.



- Mountain Agenda. 1998. *Mountains of the world: water towers for the 21st century*. Paul Haupt AG. Berna.
- Piccolo, A. y J. Mbagwu. 1999. *Role of Hydrophobic Components of Soil Organic Matter in Soil Aggregate Stability*. Soil Science Society of America Journal 63: 1801—1810.
- Podwojewski, P., J. Poulenard, T. Zambrana y R. Hofstede. 2002. *Overgrazing effects on vegetation cover and properties of volcanic ash soil in the páramo of Llangahua and La Esperanza (Tungurahua, Ecuador)*. Soil Use and Management 18: 45—55.
- Poulenard, J., P. Podwojewski y A. Herbillon. 2003. *Characteristics of nonallophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos*. Geoderma 117: 267—281.
- Poulenard, J., P. Podwojewski, J. Janeau y J. Collinet, J. 2001. *Runoff and soil erosion under rainfall simulation of andisols from the Ecuadorian páramo: effect of tillage and burning*. Catena 45: 185—207.
- Putuhena, W. e I. Cordery. 2000. *Some hydrological effects of changing forest cover from eucalypts to Pinus radiata*. Agricultural and Forest Meteorology 100: 59-72.
- Sarmiento, L. 2000. *Water balance and soil loss under long fallow agriculture in the Venezuelan Andes*. Mountain Research and Development 20: 246—253.
- Sauer, W. 1957. *El mapa geológico del Ecuador*. Editorial Universitaria. Quito.
- Soil Survey Staff. 2003. *Keys to Soil Taxonomy*, Ninth Edition. United States Department of Agriculture. Washington DC.
- Timbe E. 2004. *Agregación y disgregación temporal de datos de precipitación en microcuencas de páramo*. Tesis de M.Sc. Universidad de Cuenca. Cuenca.
- Valat, B., C. Jouany y L. Riviere. M. 1991. *Characterization of the wetting properties of air-dried peats and composts*. Soil Science 152: 100—107.
- Wada, K. 1985. *The distinctive properties of Andosols*. Advances in Soil Science 2: 174—223.
- Winckell, A., C. Zebrowski y M. Delaune. 1991. *Evolution de modèle quaternaire et des formations superficielles dans les Andes de l'Équateur*. Géodynamique 6: 97—117.

